

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93

УДК 622.271.3

## ОБ ИЗМЕНЕНИИ ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ С РАЗЛИЧНОЙ ВМЕСТИМОСТЬЮ КУЗОВА

**Хорешок Алексей Алексеевич,**

доктор техн. наук, проф., haa.omit@kuzstu.ru

**Дубинкин Дмитрий Михайлович,**

канд. техн. наук, доцент, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

**Марков Сергей Олегович,**

канд. техн. наук, доцент, e-mail: markovso@kuzstu.ru

**Тюленев Максим Анатольевич,**

канд. техн. наук, проф., e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28



### Информация о статье

Поступила:

05 октября 2021 г.

Рецензирование:

30 ноября 2021 г.

Принята к печати:

05 декабря 2021 г.

### Ключевые слова:

Открытые горные работы,  
гидравлические экскаваторы,  
карьерные автосамосвалы,  
экскаваторно-автомобильный  
комплекс, автономные  
тяжелые платформы,  
автономный карьерный  
самосвал,  
производительность  
экскаваторов,  
производительность  
автосамосвалов..

### Аннотация.

На современных разрезах эксплуатируется значительное количество различных марок и моделей карьерных самосвалов, грузоподъемность которых составляет от 55 до 450 т. Наибольшее распространение получили автосамосвалы грузоподъемностью 120-140 т. Это обусловлено рациональным, установленным на практике соотношением вместимости их кузова и вместимостью ковша распространенных моделей экскаваторов. Поскольку основным производителем карьерного транспортного оборудования является БЕЛАЗ, то в силу определенной унифицированности геометрических пропорций кузовов карьерных самосвалов, выпускаемых данным производителем, учет их особенностей не производился; однако кузова карьерных самосвалов зарубежных производителей имеют свои определенные особенности; так, например, при равной грузоподъемности отечественной и импортной модели карьерного самосвала разница в геометрической вместимости кузова может достигать до 20%, и наоборот, при равных вместимостях кузовов возникает существенное различие в грузоподъемности. Поэтому задачей данной работы является определение производительности экскаваторно-автомобильных комплексов на разрезах при использовании однотипных экскаваторов и разномарочного состава транспортного парка с целью установления наиболее рациональных вариантов. Сделаны выводы о том, что для экскаваторов с меньшей вместимостью ковша (9,6 м<sup>3</sup>) эффективная производительность при применении карьерных самосвалов грузоподъемностью 120 и 136 тонн в определенных условиях различается всего на 0,2-0,6%, в то время как для более крупной модели экскаватора (вместимость ковша 15,3 м<sup>3</sup>) эта разница для тех же условий составляет 0,40-0,96%, что позволяет сделать вывод о целесообразности применения карьерных самосвалов меньшей грузоподъемности вследствие меньшей стоимости машино-часа.

Для цитирования Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленев М.А. Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 6 (148). – С. 85-93 – DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93

### Введение

При транспортной технологии ведения открытых горных работ экскаваторно-автомобильные выемочно-погрузочно-транспортные комплексы являются наиболее распространенными [1-6]. О причинах практически повсеместного отказа от карьерного железнодорожного транспорта было неоднократно сказано ранее [11, 15, 21]. В последнее время при общей слабовыраженной тенденции увеличения объема ковша среднесписочного экскаватора, что является вполне логичным, учитывая создание и производство новых, более мощных моделей (в частности, мехлопаты с ковшом вместимостью 56 м<sup>3</sup>) широкое применение находят и модели экскаваторов так называемого среднего класса, с ковшами 7-15 м<sup>3</sup>. Карьерные самосвалы также имеют тенденцию роста объемов и массы перевозимого груза [7-10, 12, 14]. Однако сверхмощное оборудование при всех его преимуществах не может применяться повсеместно, особенно с учетом того, что в угленасыщенных зонах карьерных полей, в частности Кузбасса, мощность пластов угля и породы является весьма ограниченной [13, 18, 19]; соответственно, высокопроизводительные экскаваторы и карьерные самосвалы могут найти применение только на отработке чисто безугольных зон, где их технические характеристики окажутся весьма востребованными [16, 17]. Принимая во внимание, что и на существующих, и на проектируемых разрезах производственная мощность по углю, как правило, не превышает нескольких миллионов тонн в год, а годовые объемы вскрыши будут распределяться между вскрышей безугольной и угленасыщенной зоны, основным выемочно-погрузочным и транспортным оборудованием будет являться техника, как было сказано, среднего класса, причем как механические, так и гидравлические экскаваторы. Для таких моделей рациональным будет применение соответствующих по вместимости кузова карьерных самосвалов.

### Материалы и методы

Технические характеристики наиболее распространенных моделей карьерных самосвалов грузоподъемностью 90-140 тонн представлены в таблице 1.

Для работы с такими карьерными самосвалами рациональными вариантами будут экскаваторы с ковшами вместимостью 8-15 м<sup>3</sup>. Из прямых мехлопат подходят модели ЭКГ-10, ЭКГ-12; из гидравлических экскаваторов – например, Hitachi EX1900, Liebherr R9150 и другие модели.

Как было предложено нами в предыдущих работах [20, 22], для оценки объема горной массы, которая потенциально может быть экскавирована и перевезена тем или иным комплектом оборудования, используется эффективная производительность, выраженная через число карьерных самосвалов, загружаемых в течение смены.

В данном исследовании приняты две модели карьерных самосвалов близкой грузоподъемности – БЕЛАЗ-7513 и БЕЛАЗ-7514 с вместимостью кузова 63,3 и 71,2 м<sup>3</sup> соответственно (грузоподъемность 120 и 136 тонн), а экскаваторы – Liebherr R9150 и Liebherr R9350 с вместимостью ковша 9,6 и 15,3 м<sup>3</sup> соответственно.

Далее, в качестве влияющих факторов был принят угол поворота экскаватора (от 45 до 180°) и, соответственно, время экскаваторного цикла. Расстояние транспортирования не учитывалось вследствие того, что во главе угла было определение максимальной (потенциально достижимой) эффективной производительности экскаваторно-автомобильного комплекса и степени ее изменения при применении различных экскаваторов, то есть принималось, что карьерные самосвалы подаются под погрузку непрерывно; однако, расчетное время ожидания транспортных средств менялось от 15 до 30 секунд с интервалом в 5 с. Коэффициент экскавации во всех вариантах расчетов был принят равным 0,7.

Авторы полагают, что изменение коэффициента экскавации оказывает большее влияние на эффективную производительность, нежели изменение вместимости кузова (и грузоподъемности) карьерного самосвала, однако эта гипотеза требует дальнейшей проверки. Также следует отметить до конца не установленное влияние значений плеча откатки на общую производительность комплекта оборудования при различных условиях выемки и погрузки. Эти вопросы предполагается исследовать в дальнейших работах.

### Результаты и обсуждение

Эффективная производительность рассчитывалась для следующих комбинаций оборудования:

1. Погрузка экскаватором Liebherr R9150 автосамосвала БЕЛАЗ-7514;
2. Погрузка экскаватором Liebherr R9150 автосамосвала БЕЛАЗ-7513;
3. Погрузка экскаватором Liebherr R9150 автосамосвала Caterpillar 785C;
4. Погрузка экскаватором Liebherr R9350 автосамосвала БЕЛАЗ-7514;
5. Погрузка экскаватором Liebherr R9350 автосамосвала БЕЛАЗ-7513;
6. Погрузка экскаватором Liebherr R9350 автосамосвала Caterpillar 785C.

Фрагмент программы расчета представлен ниже. По данному варианту построен рис. 1-а.

Исходные данные		экскаватор Liebherr R9150 с ковшом 9,6 м <sup>3</sup>						
	угол поворота, град	45	60	75	90	130	150	180
время т.п. с, при погрузке:	ниже уровня	26,9	29,5	32,2	35	42,5	46,3	52
	на уровне	34,8	36,5	38,5	40,7	47,2	50,6	55,9
	выше уровня	44,3	45,5	47	48,7	54	56,9	61,6
кузов, м <sup>3</sup>	V <sub>а.п</sub>	63,1						
ковш, м <sup>3</sup>	E	9,6						
коэфф. экскавации	K <sub>э</sub>	0,7						
г/п авто	q <sub>а</sub>	120						
Расчетные данные		Время погрузки автосамосвала, мин						
т.п. мин	ниже уровня	4,21	4,62	5,04	5,48	6,65	7,25	8,14
	на уровне	5,45	5,71	6,03	6,37	7,39	7,92	8,75
	выше уровня	6,93	7,12	7,36	7,62	8,45	8,9	9,64
Число самосвалов, грузимых в час, при различной схеме установки								
	Установка автосамосвала	Время ожидания 30 секунд. БЕЛАЗ-7514, кузов 63,1 м <sup>3</sup>						
тож, мин		0,5						
число загружаемых авто в час	ниже уровня	12,74	11,72	10,83	10,03	8,39	7,74	6,94
	на уровне	10,08	9,66	9,19	8,73	7,60	7,13	6,49
	выше уровня	8,07	7,87	7,63	7,39	6,70	6,38	5,92
Эффективная производительность экскаватора, м <sup>3</sup> /час								
часовая эфф. произв.	ниже уровня	803,82	739,45	683,39	633,11	529,51	488,51	438,19
	на уровне	636,30	609,66	579,79	551,09	479,85	449,64	409,30
	выше уровня	509,56	496,85	481,68	466,26	423,02	402,77	373,37

Всего было рассчитано 24 варианта.

По результатам расчетов получены графические зависимости эффективной производительности экскаваторов при работе в комплексе с ними карьерных самосвалов различной грузоподъемности и вместимости, причем различных фирм-производителей. Пример графиков представлен на рис. 1.

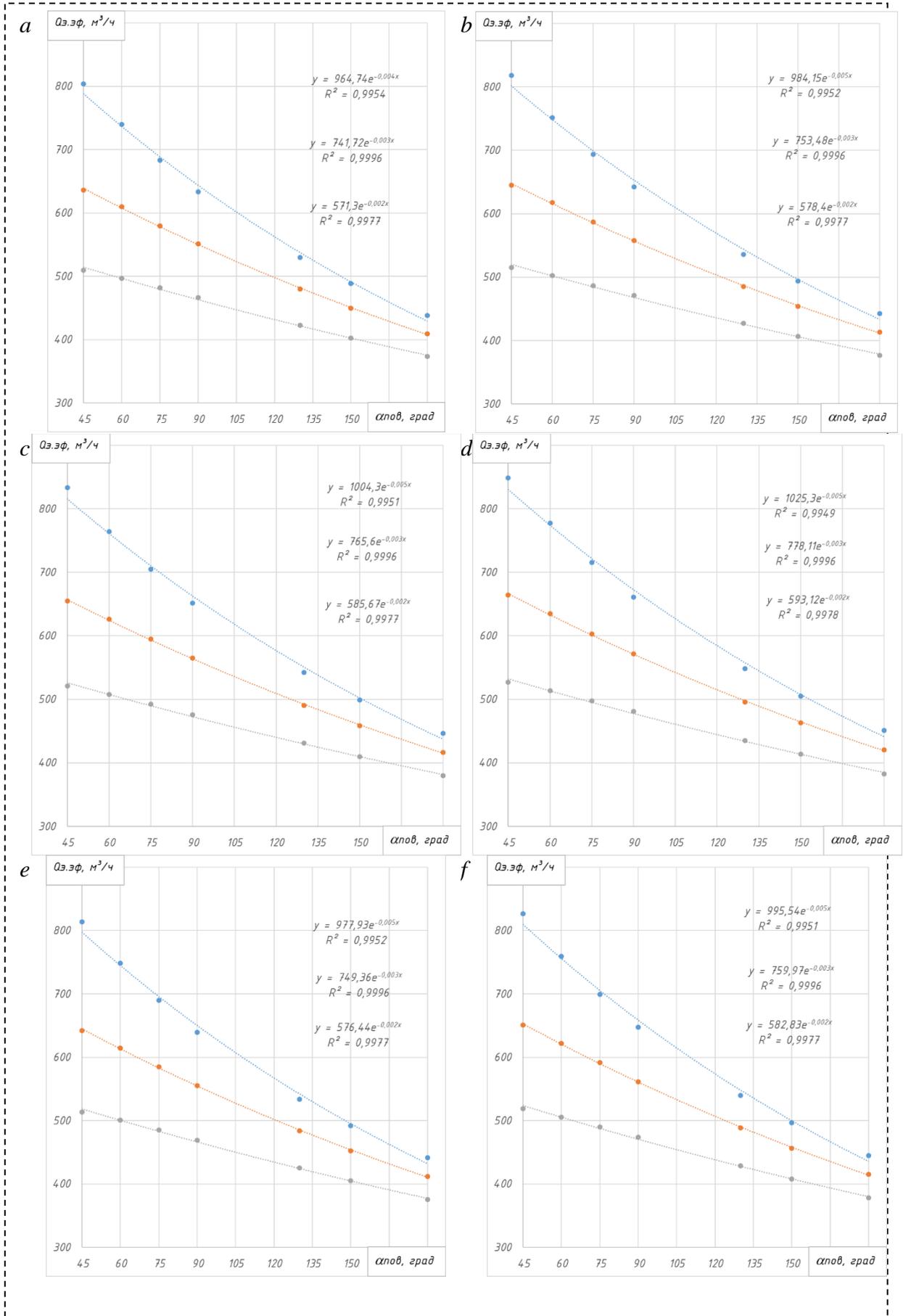
На рис. 1 кривые сверху вниз – погрузка в карьерные самосвалы ниже уровня установки экскаватора, на уровне установки и выше уровня соответственно.

В результате анализа полученных графиков установлено, что влияние вместимости кузова карьерного самосвала на эффективную производительность экскаватора незначительно. Расчет показал, что при изменении вместимости кузова автосамосвала от 63,1 до 78 м<sup>3</sup> эффективная производительность экскаватора с ковшом 9,6 м<sup>3</sup> при различном взаимном положении экскаватора и карьерного самосвала, а также при различном времени ожидания возрастает максимум на 4,5%. Минимальный рост производительности составляет всего 2,8%, причем вышеприведенные значения характерны для минимального угла поворота экскаватора на погрузку (45°).

Пример расчета в графическом виде для других условий (угол поворота 180°) приведен на рис. 2.

#### Выводы

1. По результатам расчетов установлено незначительное влияние изменения объема кузова применяемого карьерного самосвала на эффективную производительность экскаватора. В расчетах менялись следующие факторы: различное взаимное расположение экскаватора и карьерного самосвала; угол поворота экскаватора на разгрузку; время ожидания карьерного самосвала. Наиболее интенсивно производительность экскаватора изменяется при работе с нижним черпанием и нижней погрузкой, причем тем интенсивнее, чем больше время ожидания карьерного самосвала и меньше угол поворота экскаватора. В частности, для экскаватора с ковшом вместимостью 9,6 м<sup>3</sup> при различном режиме погрузки и угле поворота 180° разница в производительности составляет 0,45-0,59% при времени ожидания 15 с и 0,9-1,14% при времени ожидания 30 с. В то же время при угле поворота 45° эти значения составляют соответственно 0,6-1,1% и 1,26-2,14%.



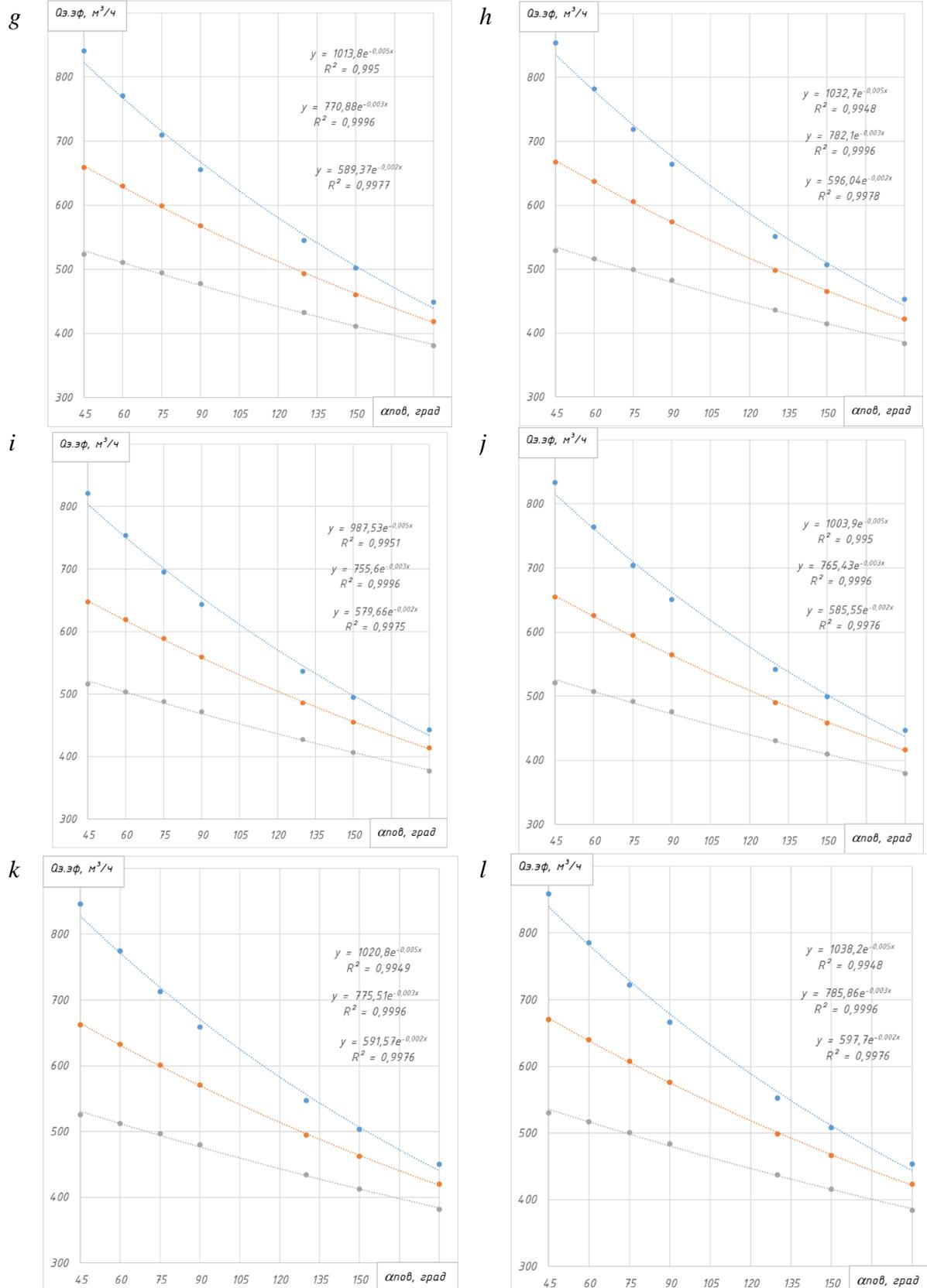


Рис. 1. Графики изменения часовой эффективной производительности  $Q_{\text{эф}}$  экскаватора Liebherr R9150 от угла поворота  $\alpha_{\text{пов}}$  на разгрузку при времени ожидания 30, 25, 20 и 15 секунд соответственно и совместной работе с карьерными самосвалами:

a-d – БЕЛАЗ-7514 (вместимость кузова 63,1  $\text{m}^3$ ), e-h – БЕЛАЗ-7513 (вместимость кузова 71,2  $\text{m}^3$ ); i-l – Caterpillar 785C (вместимость кузова 78  $\text{m}^3$ )

Fig. 1. Graphs of time-effective performance  $q_{\text{эф}}$  of excavator Liebherr R9150 angle up to unload when the waiting time of 30, 25, 20 and 15 seconds, respectively, and work together with mining trucks:

a-d – BELAZ-7514 (body capacity of 63.1  $\text{m}^3$ ), e-h – BELAZ-7513 (body capacity is 71.2  $\text{m}^3$ ); i-l – Caterpillar 785C (body volume 78  $\text{m}^3$ )

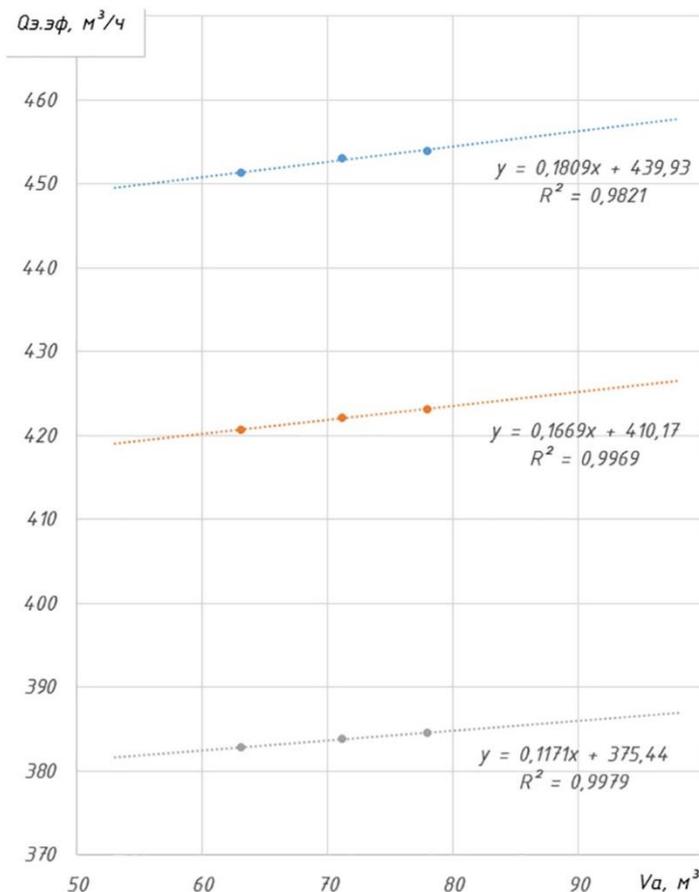


Рис. 2. Зависимость эффективной производительности экскаватора Liebherr R9150 (емкость ковша 9,6 м<sup>3</sup>) при работе с нижней погрузкой, погрузкой на уровне стояния и верхней погрузкой в автосамосвал (верхняя, средняя и нижняя кривая соответственно), угле поворота на разгрузку 180° и времени ожидания автосамосвала 15 секунд

Fig. 2. Dependence of the effective performance of the Liebherr R9150 excavator (bucket capacity 9.6 m<sup>3</sup>) when working with bottom loading, standing loading and top loading into a dump truck (upper, middle and lower curves, respectively), 180° angle of rotation for unloading and 15 seconds waiting time of the dump truck

2. Эффективную производительность экскаватора в дальнейшем предполагается связывать с эффективной производительностью карьерного самосвала, потенциально – автономным карьерным самосвалом. Поскольку последняя имеет определенные особенности эксплуатации и расчета технико-экономических показателей работы, необходимо проводить расчет с учетом экономической эффективности работы того или иного комплекта выемочно-погрузочного и транспортного оборудования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-034 от 22.11.2019 г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых в системе "Умный карьер"», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лель, Ю.И. Направления повышения эффективности экскаваторно-автомобильных комплексов угледобывающих предприятий / Ю.И. Лель, А.Л. Жуков, Н.А. Николаев, А.В. Семенкин // Горный журнал. Известия вузов. – 2013. – № 2. – С. 29-36.

2. Зарипова С.Н. Оптимизация работы экскаваторно-автомобильных комплексов // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. – №3. – С. 104-108.
3. Глебов А.В. Методика формирования парка карьерных самосвалов // Горный журнал. – 2012. – №1. – С. 75-78.
4. Глебов, А.В. Основные принципы формирования автомобильного парка горнодобывающего предприятия / А.В. Глебов, Г.Д. Кармаев // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – №7. – С. 37-41.
5. Журавлёв, А.Т. К вопросу обоснования производительности экскаваторно-автомобильных комплексов методом компьютерного моделирования / А.Т. Журавлёв, А.В. Скороходов // Проблемы недропользования. – 2015. – №2. – С. 53-60.
6. Самолазов, А.В. Основные тенденции развития экскаваторно-автомобильных комплексов / А.В. Самолазов, Н.И. Паладеева, А.А. Беликов // Горная промышленность. – 2009. – №4(86). – С. 20.
7. Burt, C. N. Match factor for heterogeneous truck and loader fleets / C. N. Burt, L. Caccetta // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. – 2007. – Vol. 21(4). – P. 262-270.
8. Morgan, W. Determining shovel-truck productivity / W. Morgan, L. Peterson // Mining Engineering. – 1968. – С. 76-80.
9. Getin N. Open-pit truck/shovel haulage system simulation // Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Turkey. – 2004. – 133 p.
10. Krzyzanowska J. The impact of mixet fleet hauling on-mining operations at Venetia mine // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Vol. 107, No. 4. – P. 215-224.
11. Дубинкин, Д.М. Исследование процесса транспортирования вскрышных пород и угля на разрезах / Д.М. Дубинкин, В.Ю. Садовец, Г.О. Котиев, А.В. Карташов // Техника и технология горного дела. – 2019. – №4. – С. 50-66.
12. Васильев, М.В. Транспортные процессы и оборудование на карьерах // М.: Недра. – 1986. – 240 с.
13. Katsubin A.V. Systematization of the mining and geological conditions of the coal-bearing and coal-free zones of the Kuzbass open pits / A.V. Katsubin, A.A. Fedotov // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. – 2019. – №3. – P. 60-75.
14. Зырянов, И.В. Производительность выемочно-погрузочного оборудования / И.В. Зырянов, Ю.И. Лель, Д.Х. Ильбульдин, Н.В. Мартынов, Р.С. Ганиев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 8. – С. 11-20.
15. Дубинкин, Д.М. Обоснование необходимости создания тяжелых платформ для открытых горных работ // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – №4 (150). – С. 59-64.
16. Анистратов, К.Ю. Исследование закономерностей изменения показателей работы карьерных автосамосвалов в течение срока их эксплуатации / К.Ю. Анистратов, М.С. Градусов, В.Я. Стремилев, М.В. Тетерин // Горная промышленность. – 2006. – №6. – С. 30-34.
17. Гавришев, С.Е. Повышение эффективности использования автосамосвалов в условиях карьеров на открытых горных работах / С.Е. Гавришев, А.Д. Кольга, И.А. Пыгалев, Т.М. Попова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 3. – С. 161-170.
18. Колесников, В.Ф. Обзор ведения выемочно-погрузочных работ при отработке угленасыщенных зон разрезов Кузбасса / В.Ф. Колесников, М. Цехлар, Е.А. Тюленева // Техника и технология горного дела. – 2018. – № 2 (2). – С. 36-50.
19. Кантович, Л.И. Опыт и перспективы применения гидравлических экскаваторов при отработке угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса / Л.И. Кантович, О.И. Литвин, А.А. Хорешок, Е.А. Тюленева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 4. – С. 152-160.
20. Тюленев, М.А. Об интенсивности изменения производительности автономной тяжелой платформы / М.А. Тюленев, С.О. Марков, Д.М. Дубинкин, В.В. Аксенов // Вестник КузГТУ. – 2021. – №1. – С. 97-108.
21. Дубинкин, Д.М. Влияние горнотехнических факторов на производительность беспилотных карьерных автосамосвалов / Д.М. Дубинкин, В.В. Аксенов, М.А. Тюленев, С.О. Марков // Техника и технология горного дела. – 2020. – № 4 (11). – С. 42-69.
22. Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленев М.А. Оценка степени взаимовлияния вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3 (145). – С. 104-112. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-12-19.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93

UDS 622.271.3

**ON CHANGES OF EFFICIENT PRODUCTIVITY OF EXCAVATORS  
WHEN USING DUMP TRUCKS WITH DIFFERENT BODY CAPACITY**

**Alexey A. Khoreshok**, Dr. Sc. in Engineering, Professor  
**Dmitry M. Dubinkin**, C. Sc. in Engineering, Associate Prof.  
**Sergey O. Markov**, C. Sc. in Engineering, Associate Prof.  
**Maxim A. Tyulenev**, C. Sc. in Engineering, Prof.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 Vesennaya street, Kemerovo,  
 650000, Russian Federation

**Article info**

Received:

05 October 2021

Revised:

30 November 2021

Accepted:

05 December 2021

**Keywords:** Open-pit mining,  
 hydraulic excavators, haul  
 trucks, excavator-truck complex,  
 autonomous heavy trucks,  
 autonomous dump truck,  
 productivity of excavators,  
 productivity of haul trucks.

**Abstract.**

A significant number of different brands and models of mining haul trucks are in operation at modern coal quarries, with load capacities ranging from 55 to 450 tons. One of the most frequently used models are dump trucks with 120-140 tons capacity. It is caused by optimal, established in practice, correlation of volume of their body and volume of bucket of widespread excavator models. As the basic manufacturer of the mine transport equipment is BelAZ, by virtue of the certain unification of geometrical proportions of the dump trucks' bodies, produced by this manufacturer, the account of their features isn't performed; however the dump trucks' bodies of foreign manufacturers have their own features; so, for example, at equal tonnage of domestic and import model of dump trucks the difference in geometrical capacity of the body can arrive to 20 percent, and on the contrary, when the volume of the bodies are equal, there is a significant difference in payload capacity. Therefore, the task of this paper is to determine the performance of shovel-truck complexes in the quarries when using the same type of excavators and different-type composition of the transport fleet in order to establish the most optimal options. Conclusions are drawn that for excavators with a smaller bucket volume (9,6 m<sup>3</sup>) the effective productivity at application of dump trucks with payload capacity of 120 and 136 tons differs in certain conditions just on 0,2-0,6% while for a larger excavator model (bucket volume 15,3 m<sup>3</sup>) this difference makes 0,4-0,96% for the same conditions, that allows to draw a conclusion about expediency of application of dump trucks of smaller payload capacity because of smaller expenses for theirs machine shift.

**For citation** Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. On changes of efficient productivity of excavators when using dump trucks with different body capacity. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2021, no.6 (148), pp. 85-93. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93

**REFERENCES**

1. Lel', Ju.I. Napravlenija povyshenija jeffektivnosti jekskavatorno-avtomobil'nyh kompleksov ugledobyvajushhih predpriyatij / Ju.I. Lel', A.L. Zhukov, N.A. Nikolaev, A.V. Semenkin // Gornyj zhurnal. Izvestija vuzov. – 2013. – № 2. – S. 29-36.
2. Zaripova S.N. Optimizacija raboty jekskavatorno-avtomobil'nyh kompleksov // Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal. – 2007. – №3. – S. 104-108.
3. Glebov A.V. Metodika formirovanija parka kar'ernyh samosvalov // Gornyj zhurnal. – 2012. – №1. – S. 75-78.
4. Glebov, A.V. Osnovnye principy formirovanija avtomobil'nogo parka gornodobyvajushhego predpriyatija / A.V. Glebov, G.D. Karmaev // Gornoe oborudovanie i jelektromehanika. – 2010. – №7. – S. 37-41.
5. Zhuravljov, A.T. K voprosu obosnovanija proizvoditel'nosti jekskavatorno-avtomobil'nyh kompleksov metodom komp'juternogo modelirovanija / A.T. Zhuravljov, A.V. Skorohodov // Problemy nedropol'zovanija. – 2015. – №2. – S. 53-60.

6. Samolazov, A.V. Osnovnye tendencii razvitiya jekskavatorno-avtomobil'nyh kompleksov / A.V. Samolazov, N.I. Paladeeva, A.A. Belikov // Gornaja promyshlennost'. – 2009. – №4(86). – S. 20.
7. Burt, C. N. Match factor for heterogeneous truck and loader fleets / C. N. Burt, L. Caccetta // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. – 2007. – Vol. 21(4). – P. 262-270.
8. Morgan, W. Determining shovel-truck productivity / W. Morgan, L. Peterson // Mining Engineering. – 1968. – C. 76-80.
9. Getin N. Open-pit truck/shovel haulage system simulation // Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Turkey. – 2004. – 133 p.
10. Krzyzanowska J. The impact of mixet fleet hauling on-mining operations at Venetia mine // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Vol. 107, No. 4. – P. 215-224.
11. Dubinkin, D.M. Issledovanie processa transportirovaniya vskryshnyh porod i uglja na razrezah / D.M. Dubinkin, V.Ju. Sadovec, G.O. Kotiev, A.V. Kartashov // Tekhnika i tekhnologija gornogo dela. – 2019. – №4. – C. 50-66.
12. Vasil'ev, M.V. Transportnye processy i oborudovanie na kar'erah // M.: Nedra. – 1986. – 240 s.
13. Katsubin A.V. Systematization of the mining and geological conditions of the coal-bearing and coal-free zones of the Kuzbass open pits / A.V. Katsubin, A.A. Fedotov // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. – 2019. – №3. – P. 60-75.
14. Zyrjanov, I.V. Proizvoditel'nost' vyemochno-pogruzochnogo oborudovanija / I.V. Zyrjanov, Ju.I. Lel', D.H. Il'bul'din, N.V. Martynov, R.S. Ganiev // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal. – 2016. – № 8. – S. 11-20.
15. Dubinkin, D.M. Obosnovanie neobходимosti sozdaniya tjazhelyh platform dlja otkrytyh gornyh rabot // Gornoe oborudovanie i jelektromehaniка. – 2020. – №4 (150). – S. 59-64.
16. Anistratov, K.Ju. Issledovanie zakonomernostej izmenenija pokazatelej raboty kar'ernyh avtosamosvalov v techenie sroka ih jekspluatcii / K.Ju. Anistratov, M.S. Gradusov, V.Ja. Stremilov, M.V. Teterin // Gornaja promyshlennost'. – 2006. – №6. – S. 30-34.
17. Gavrishev, S.E. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija avtosamosvalov v uslovijah kar'erov na otkrytyh gornyh rabotah / S.E. Gavrishev, A.D. Kol'ga, I.A. Pytalev, T.M. Popova // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2019. – № 3. – S. 161-170.
18. Kolesnikov, V.F. Obzor vedenija vyemochno-pogruzochnykh rabot pri otrabotke uglenasyshennykh zon razrezov Kuzbassa / V.F. Kolesnikov, M. Cehlar, E.A. Tyuleneva // Tekhnika i tekhnologija gornogo dela. – 2018. – № 2 (2). – S. 36-50.
19. Kantovich, L.I. Opyt i perspektivy primenenija gidravlicheskih jekskavatorov pri otrabotke uglenasyshennykh zon na razrezah Kuzbassa / L.I. Kantovich, O.I. Litvin, A.A. Khoreshok, E.A. Tyuleneva // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal). – 2019. – № 4. – S. 152-160.
20. Tyulenev, M.A. Ob intensivnosti izmenenija proizvoditel'nosti avtonomnoj tjazhelej platformy / M.A. Tyulenev, S.O. Markov, D.M. Dubinkin, V.V. Aksenov // Vestnik KuzGTU. – 2021. – №1. – C. 97-108.
21. Dubinkin, D.M. Vlijanie gornotehnicheskikh faktorov na proizvoditel'nost' bespilotnyh kar'ernyh avtosamosvalov / D.M. Dubinkin, V.V. Aksenov, M.A. Tyulenev, S.O. Markov // Tekhnika i tekhnologija gornogo dela. – 2020. – № 4 (11). – S. 42-69.
22. Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. Ocenka stepeni vzaimovlijanija vmestimosti kovsha jekskavatora i kuzova avtosamosvala // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2021. – № 3 (145). – S. 104-112. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-12-19.

### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2021 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).